

フィードバック情報の部分呈示による姿勢制御

朝 長 昌 三

Postural Control by a Partial Presentation of the Feedback Information

SHOZO TOMONAGA

The purpose of this study was to examine the practice effect of the body sway under three conditions; eyes closed, eyes open, and feedback condition. The feedback information was only locus of X-component of the body sway drawn on a X-Y recorder. The subjects were instructed to control their posture as well as possible by watching the pen and their loci of X-component. That was the feedback condition. The number of trials in each condition was twenty-five. The indexes were velocity, acceleration, shift length, and area of the body sway. The results were as follows:

- (1) The velocity, the acceleration, the shift length, and the area of the body sway had not practice effects under the eyes closed, the eyes open, and the feedback conditions.
- (2) The velocity, the acceleration, and the shift length of lateral component under the feedback condition were larger than the eyes open condition, but smaller than the eyes closed condition. The velocity and the acceleration of anterior-posterior component under the feedback condition were the smallest of the three conditions. The area of the body sway under the feedback condition was the smallest of the three conditions.
- (3) Females had larger velocity, acceleration, shift length, and area of the body sway than males under the three conditions.

These results suggested that when the subjects controlled their posture by the feedback information used in this study, the anterior-posterior component of the body sway became more stable.

Key words: the sway of the center of gravity, feedback condition, practice effect, velocity, acceleration, shift length, area of the body sway

立位姿勢におけるヒトの平衡機能の評価法として、身体動揺の測定が多く用いられている。その測定結果には前庭器官・体性感覚器官・視覚器官などの異種感覚情報が関与しているが、特に視覚系からの情報が重要な役割を果たしている（Edwards,

1946 ; Wapner and Witkin, 1950 ; 中田, 1983)。

視覚情報の姿勢保持機構に対する役割を解明するためには、視覚系へ種々の刺激を与えることにより身体動揺の変化を観察することが行われてきた。視覚系への負荷方法のなかで最も多く用いられている方法は閉眼負荷であり、閉眼により身体動揺量が増大するという結果が多く報告されている。また視覚器官から入力された情報が重心動揺におよぼす影響を観察するために、一般的には固視標を凝視した条件をコントロールし、視覚に対して外乱を負荷した場合の重心動揺の変化を観察することが行われている。それに対して、視運動刺激や、視標追跡刺激のように動的な視覚刺激を用いた研究も試みられてきた。

市川ら (1989) は、視運動刺激が直立姿勢に与える影響について検討するために、視運動刺激中の重心動揺を周波数解析し、視運動刺激中の重心動揺のパワースペクトラムには、1 Hzおよび2～3 Hzのパワーが増大する、また60deg/secまでの角速度の視運動刺激においては、パターン移動速度に比例して、重心の前方移動量が増大するという結果を得た。

河合ら (1991) は、大型半球スクリーン内を動く視標を追跡する視標追跡刺激を用いて、刺激周波数および運動視角と、重心動揺の動揺軌跡長と動揺面積との関係について検討した。そして運動視角30度において0.2Hzの視標追跡刺激を負荷したとき、動揺軌跡長と動揺面積はともに最大となり、それ以上の周波数では動揺軌跡長だけ減少する傾向を示すという結果を得た。

直立姿勢時の重心動揺の定量化の方法も、データをA/D変換した後、コンピュータを用いてFFT法による周波数分析を行う方法も多い (森戸・羽柴・林・三宅・渡辺, 1981 ; 中田, 1982, 1983 ; 清水・藤木, 1983 ; 藤原・池上, 1984 ; 稲村・河合・青木・天岸・間野・大原, 1986 ; 片平・岩崎・塚原・阪場・佐々木, 1987 ; 市川・渡邊, 1989)。また重心動揺を左右方向 (X—成分) と前後方向 (Y—成分) に関する時系列記録として計測してX—Y記録図を描き、動揺面積や動揺軌跡長などを求めて平衡調節機能を評価している研究も多い (稲村, 1982 ; 河合・稲村・間野, 1989 ; 渡辺・横山・高田, 1989 ; 河合・間野・古賀, 1991)。

本研究では、X—Yレコーダに描かれる被験者自身の動揺の軌跡と、X—Yレコーダのペンを動的な視覚刺激として用いた。すなわち、被験者はX—Yレコーダに描かれる自分自身の動揺の軌跡とペンを見ながら動揺をコントロールさせ、これをフィードバック条件とした。このように、被験者の重心動揺を直接被験者自身が視覚的フィードバック情報として用い、動揺を直接視覚的にとらえた場合の姿勢制御の現われ方、および1日5試行、5日間連続の計25試行における重心動揺の練習効果について明らかにするのが、本研究の目的である。またフィードバック条件と比較するために、被

験者の眼前に呈示した固視点を凝視させて、直立姿勢をとった場合の開眼条件と、閉眼時に直立姿勢をとった場合の閉眼条件を用いた。本研究では、これら3条件における動揺の5日間計25試行の推移について検討した。

方 法

重心動揺の測定は、Fig. 1 に示したようなシステムを用いて行った。図のように、重心動揺は正三角形3点支持の平衡機能計（1G01，三栄測器社）を用いて測定した。検出台からの出力は座標変換増幅器によって増幅され、レクチグラフ（8K10，三栄測器社），カセットデータレコーダ（R-61，TEAC社）およびX-Yレコーダ（8U61，日本電気三栄社）に入力された。

被験者は検出台上に、踵を接し足尖を開いて（45度）直立し、両上肢を体側に接した姿勢をとった。検出台上での被験者の重心動揺が安定したことを、レクチグラフに描かれる動揺のX-成分（左右動揺）とY-成分（前後動揺）の軌跡によって確認した後、レクチグラフのペンの零点位置を調整した。

まず閉眼で直立姿勢時の動揺をデータレコーダに記録（65秒）し、これを閉眼条件における重心動揺とした。閉眼条件における動揺を記録した後、被験者は検出台を下り、椅子に座り、約1分間の休憩をとった。

休憩後再び検出台上に直立させ、開眼で眼前約1.5mに呈示された（一）印の固視点を凝視させた状態における動揺を記録（65秒）した。これを開眼条件における重心動揺とした。

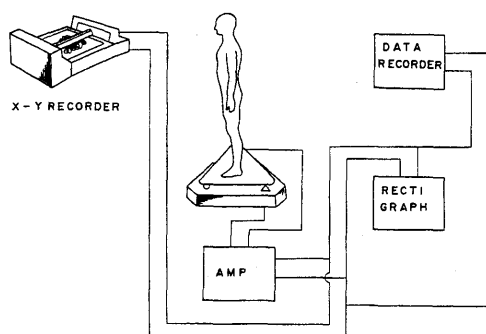


Fig. 1 The system used in measuring the sway of the center of gravity. The output from the detector was fed to the recti-graph, the data recorder, and the X-Y recorder. The subjects controlled their postures by watching their loci on the X-Y recorder and a pen of the X-Y recorder.

次に、再び被験者を椅子に座らせその時に、”X-Yレコーダのペンと、ペンによって描かれる動揺の軌跡を見ながら、できるだけペンを動かさないように姿勢をコントロールさせてください。ペンはなるべく記録紙の中央にくるように調整してください”という指示を与えた。その説明後、被験者を検出台上に直立させX-Yレコーダのペンを凝視させた。そしてX-Yレコーダの「ZERO」スイッチを「RECORD」側にすると、被験者が重心を前方、後方、左方、右方に移動させるに従っ

て、斜前方約1mに設置されたX-Yレコーダのペンもそれに従った動きをすることを確かめさせ、さらに姿勢のコントロールの仕方を練習させた。その後、X-YレコーダのY-成分の「ZERO」スイッチを「ZERO」側にして、X-Yレコーダに描かれる動揺の軌跡がX-成分だけ呈示され、その時に“今度は、動揺のX-成分だけが呈示されます。Y-成分の動きは止りますが、データレコーダにはY-成分の動きも記録されます。ペンが記録紙の中央付近にきた時に、Y-成分の動きを止めますから、その時のY-成分の動きのことも考えながら、なるべくペンを動かさないように姿勢をコントロールさせてください”という指示を与え、数秒後、Y-成分も呈示して、実際の動揺の現われを示した。そのことを数回練習させた後、記録を行った(65秒)が、これをフィードバック条件における重心動揺とした。

閉眼条件、開眼条件およびフィードバック条件における動揺の3試行を1ブロックとして、1日に5ブロック、そしてこれを5日間連続して行った。

被験者は、健常な男子学生5人と女子学生5人の合計10人であった。

重心動揺の解析は、まずデータレコーダから出力したデータをA/D変換した後、重心動揺計解析プログラム(日本電気三栄社)によって動揺を左右方向と前後方向に関する時系列記録として計測し、各方向の平均速度、平均加速度および移動距離と、動揺の範囲を示す動揺面積を求めることによって重心動揺を定量化した。サンプリングタイムは50msで、取り込み時間は51.2sであった。

結 果

結果は以下の通りであった。

1. 練習効果

各被験者の各条件における1日5試行の平均値をその被験者の各条件における1日の代表値として、10人の被験者の5日間の練習効果をみるために分散分析を行い、Table 1のような結果を得た。

表からわかるように、どの条件においても練習効果はなかった。

次に、各条件における5日間(25試行)の動揺の変化をみるために、各被験者の各条件における1日の代表値の10人の平均値を代表値として回帰直線 $Y = aX + b$ を求め、その定数 a 、 b についてTable 2のような結果を得た。

表からわかるように、3条件における平均速度、平均加速度、移動距離および動揺面積に減少傾向があった。Fig. 2は、10人の被験者の各条件における動揺面積の5日間の推移を示したものである。

2. 条件間の大小関係

3条件間の大小関係をみるために、各条件における各試行毎の10人の平均値を代表

Table 1 Results of ANOVA on practice effect under the three conditions.

		Closed eyes	Eyes open	Feedback
Velocity	X	2.468	2.257	1.709
	Y	0.108	0.448	0.922
Acceleration	X	1.828	1.619	0.994
	Y	0.256	0.755	0.999
Shift length	X	1.998	1.992	1.347
	Y	0.355	0.473	1.607
Area		2.270	1.738	2.172

* ; $p < .05$, ** ; $p < .01$ Table 2 Constant a, b of regression line $Y=aX+b$.

		Cons.	Closed eyes	Eyes open	Feedback
Velocity	X	a	-0.009	-0.005	-0.009
		b	0.371	0.274	0.345
	Y	a	-0.002	-0.002	-0.004
		b	0.390	0.285	0.284
Acceleration	X	a	-0.061	-0.023	-0.010
		b	2.444	1.763	2.184
	Y	a	-0.016	-0.006	-0.021
		b	2.545	1.880	1.922
Shift length	X	a	-0.463	-0.225	-0.361
		b	21.816	16.487	20.116
	Y	a	-0.232	-0.161	-0.332
		b	29.232	23.988	24.621
Area	a		-0.023	-0.016	-0.023
	b		0.742	0.051	0.450

値として、対応のある
t-検定を行い、以下
のような結果を得た。

(1) 左右動揺の平均速度

開眼条件<フィードバック条件<閉眼条件

(2) 左右動揺の平均加速度

開眼条件<フィードバック条件<閉眼条件

(3) 左右動揺の移動距離

開眼条件<フィードバック条件<閉眼条件

(4) 前後動揺の平均速度

フィードバック条件=開眼条件<閉眼条件

(5) 前後動揺の平均加速度

フィードバック条件=開眼条件<閉眼条件

(6) 前後動揺の移動距離

開眼条件=フィードバック条件<閉眼条件

(7) 動揺面積

フィードバック条件<開眼条件<閉眼条件

以上の結果のように、被験者自身の動揺のX-成分すなわち左右動揺だけを呈示して姿勢をコントロールさせた場合、左右動揺の平均速度、平均加速度および移動距離

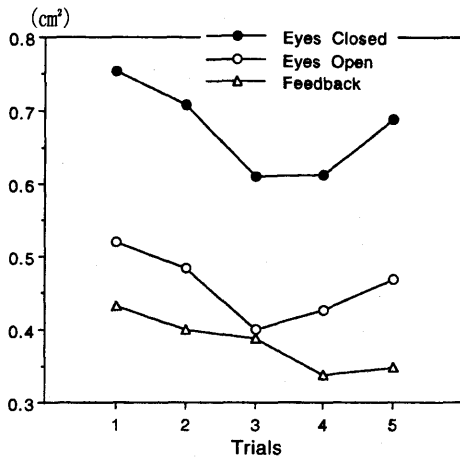


Fig. 2 A change of area of the body sway under three conditions.

Table 3 Results of t-test on sex.

		Closed eyes	Eyes open	Feedback
Velocity	X	15.981 **	14.805 **	8.954 **
	Y	16.625 **	17.740 **	14.102 **
Acceleration	X	14.163 **	11.387 **	8.098 **
	Y	11.446 **	14.436 **	10.715 **
Shift length	X	14.694 **	14.486 **	8.791 **
	Y	13.175 **	16.865 **	14.198 **
Area		17.784 **	13.708 **	10.766 **

** ; $p < .01$

は開眼条件よりも大であったが、閉眼条件よりは小であった。それに対して、前後動揺の平均速度と平均加速度は最も小であり、移動距離は閉眼条件よりは小であったが、開眼条件との間には統計的には差はなかった。またフィードバック条件における動揺面積が最も小であった。

3. 性差

男女差をみるために、男女各5人の各条件における各試行の値を代表値として、各条件の25試行について対応のあるt-検定を行いTable 3のような結果を得た。

表からわかるように、3条件における平均速度、平均加速度、移動距離および動揺面積ともに、女性の方が男性よりも大であった。

考 察

本研究の目的は、X-Yレコーダに描かれる被験者自身の重心動揺のうちX-方向だけの軌跡とX-Yレコーダのペンを視覚的フィードバック情報として呈示した場合の重心動揺の現われ方、およびこのようなフィードバック条件のもとで1日に5試行、さらにこれを5日間連続して姿勢をコントロールさせた場合の重心動揺の練習効果を、動揺の平均速度、平均加速度、移動距離および動揺面積から検討し、また閉眼条件と開眼条件における動揺と比較検討することであった。

練習効果

閉眼条件、開眼条件およびフィードバック条件における左右動揺と前後動揺の平均速度、平均加速度および移動距離に減少傾向があった。また動揺面積に関しても、試行数が増すにつれて減少傾向があった。しかしながら表1からもわかるように、統計的には有意な差はなかった。

以上の結果のように、本研究で用いたようなX-Yレコーダに描かれる被験者自身の動揺の軌跡のうち、X-方向だけを視覚的フィードバック情報として呈示して姿勢

をコントロールさせた場合、動揺のコントロールが困難になると考えられた。特に、動揺面積に関しては、統計的には練習効果はなかったが、試行数が増すにつれて面積が小さくなっていくことから、姿勢をコントロールする場合、視覚的フィードバック刺激の部分的な呈示によっても動揺は安定化すると考えられた。

条件間の大小関係

中田（1983）は、刺激の一時的な遮断は直立姿勢保持能力を低下させるとし、弱視者や全盲者は正眼者に比べて直立姿勢保持能力が低いことを明らかにした。河合ら（1989）は、重心動揺距離や動揺面積がともに最も大きな測定値を示したのは暗所閉眼で、最も小であったのは明所開眼であるという結果からも、姿勢制御に視覚情報の果たす役割は重要と考えられる。

本研究で得た結果は、フィードバック条件における左右動揺の平均速度は開眼条件よりも速かった（ $t = 15.226$, $p < .01$ ）が、閉眼条件よりは遅かった（ $t = 6.664$, $p < .01$ ）。平均加速度は開眼条件よりも大であった（ $t = 16.702$, $p < .01$ ）が、閉眼条件よりも小であった（ $t = 2.944$, $p < .01$ ）。移動距離は開眼条件よりも長かった（ $t = 15.640$, $p < .01$ ）が、閉眼条件よりも短かった（ $t = 6.350$, $p < .01$ ）。

左右動揺に対して、フィードバック条件における前後動揺の平均速度も平均加速度も最も小で、統計的にも有意であった。また移動距離は開眼条件よりも長かったが、統計的には有意な差はなく、閉眼条件よりは短かった（ $t = 26.368$, $p < .01$ ）。

フィードバック条件における動揺面積は最も小で、統計的にも有意であった。

以上の結果のように、動揺のX一方向だけを視覚的フィードバック情報として姿勢をコントロールさせた場合、呈示されなかった前後動揺の安定性が示唆された。すなわちこのことは、被験者が呈示されたX一方向の刺激の動きに従って左右方向の姿勢をコントロールさせたために左右方向の動きが大となり、それに対して、呈示されなかったY一方向に対しては意識的に動揺を抑えたために、前後動揺が安定したと考えられた。

性差

重心動揺の性差に関しては、統一的な結果は得られていない。小島ら（1980）は、閉眼時および開眼時の動揺において男女差はないという結果を得た。それに対して、菅野ら（1971）は、女性の方が男性よりも動揺面積は小であるという結果を得た。小林ら（1987）は、閉眼時には男性が女性に比べて動揺面積が大であったが、開眼時には男女差はないという結果を得た。さらに臼井ら（1985）は、直立能力は女性よりも男性の方が高いとしている。

本研究では、閉眼条件、開眼条件およびフィードバック条件における動揺の平均速度、平均加速度、移動距離および動揺面積のすべてにおいて、女性の方が男性よりも

大であった。

これらのことから、視覚情報を遮断したり固視標を見ながら姿勢をコントロールさせたり、また動揺のX一方向だけを呈示して姿勢をコントロールさせた場合においても、直立姿勢の維持は男性の方が女性よりも高いと考えられた。

要 約

本研究の目的は、X-Yレコーダに描かれる被験者自身の重心動揺のX一方向だけの軌跡とX-Yレコーダのペンを視覚的フィードバック情報として呈示した場合の重心動揺の現われ方、およびこのようなフィードバック条件のもとで1日に5試行、さらにこれを5日間連続して姿勢をコントロールさせた場合の重心動揺の練習効果を、動揺の平均速度、平均加速度、移動距離および動揺面積から検討し、また閉眼条件と開眼条件における動揺と比較検討することであった。結果は以下の通りであった。

1. 閉眼条件、開眼条件およびフィードバック条件における動揺の平均速度、平均加速度、移動距離および動揺面積には練習効果はなかった。
2. フィードバック条件における左右動揺の平均速度、平均加速度および移動距離は開眼条件よりも大であったが、閉眼条件よりも小であった。フィードバック条件における前後動揺の平均速度、平均加速度は最も小であった。移動距離は開眼条件よりも大であったが、統計的には有意な差はなかった。フィードバック条件における動揺面積が最も小であった。
3. 性差に関しては、閉眼条件、開眼条件およびフィードバック条件における動揺の平均速度、平均加速度、移動距離および動揺面積のすべてにおいて、女性の方が男性よりも大であった。

引 用 文 献

- Edwards, A. S. 1946 Body sway and vision. *Journal of Experimental Psychology*, 36, 526-536.
- 藤原勝夫・池上晴夫 1984 立位姿勢における身体動揺の周波数成分の加齢変化 姿勢研究, 4 (2), 81-88.
- 市川真澄・渡邊悟 1989 ヒトの姿勢調節機能に与える視運動刺激の影響 環研年報, X L, 30-33.
- 稲村欣作 1982 One Foot Testと重心図分析方法の再検討 姿勢研究, 2 (1), 49-57.
- 稲村欣作・河合学・青木賢一・天岸祥光・間野忠明・大原孝吉 1986 スタビログラムの低周波成分について一約1分前後の周期をもつ周波数成分と機械受容感覚情報との係わり 姿勢研究, 6 (1), 1-11.
- 片平清昭・岩崎祥一・塚原進・阪場貞夫・佐々木武人 1987 立位姿勢における身体動揺と足底部位圧 姿勢研究, 7 (1), 7-12.
- 河合学・稲村欣作・間野忠明 1989 立位姿勢における身体動揺と環境照度 姿勢研究, 9 (1), 25-32.

- 河合学・間野忠明・古賀一男 1991 視標追跡刺激と身体動揺 姿勢研究, 11 (1), 31-38。
- 小林祥泰・藤原茂芳・下手公一・小出己・鈴木知子・山口修平・恒松徳五郎・桧学・高木明 1987 正常高齢者における重心動揺と脳循環, 知的精神機能との関連について 姿勢研究, 7 (1), 1-6。
- 小島幸江・竹森節子 1980 小児の身体平衡の発達について—正常小児, 起立位を中心に—耳鼻臨床, 73 (5), 865-871。
- 森戸貞良・羽柴基之・林良一・三宅彰英・渡辺悟 1981 重心動揺よりみたRomberg姿勢およびMann姿勢 姿勢研究, 1 (1), 13-19。
- 中田英雄 1982 重心動揺からみた視覚障害者の直立姿勢保持能力 姿勢研究, 2 (1), 41-48。
- 中田英雄 1983 視覚障害者の直立姿勢保持能力 姿勢研究, 3 (1), 1-7。
- 清水史郎・藤木宏嗣 1983 基本動的姿勢における重心動揺と身体動揺の3次元分析 姿勢研究, 3 (2), 59-64。
- 菅野久信・武谷力 1971 平衡計とその臨床応用 Equilibrium Res., Vol. 28., 38-39。
- 臼井永男・福田恵祥・大橋義春・北村国広・袴田祐治・大村弘司・鈴木陽市・倉沢一男・晝馬輝夫・平沢弥一郎 1986 プランターアナライザによる直立能力の解析 姿勢研究, 5 (1), 17-22。
- Wapner, S., & Witkin, H. A. 1950 The role of visual factors in the maintenance of body-balance. Am. J. Psychology, 63. 385-408.
- 渡辺功・山内公雄・平沢弥一郎・晝馬輝夫 1984 成人の直立能力に関する長期的変動(1)—One Foot Testを中心とした— 姿勢研究, 4 (2), 97-105。
- 渡辺興作・横山清子・高田和之 1989 ヒトの直立姿勢動揺の自己回帰モデルによる平衡調節機能の解析 姿勢研究, 9 (1), 33-41。
- 山内公雄・渡辺功・平沢弥一郎・晝馬輝夫 1985 成人の直立能力に関する長期的変動(2)—安定域を中心に— 姿勢研究, 5 (1), 7-15。